



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Análise temporal de parâmetros biofísicos e identificação de terras agrícolas irrigadas e de sequeiro em Petrolina, Pernambuco, utilizando o Google Earth Engine

Tayran Oliveira dos Santos¹, Werônica Meira de Souza², Josiclêda Domiciano Galvêncio³, Rodrigo Gomes Lucena⁴, Maria Leidiane Ferreira⁵

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). ORCID: 0000-0003-0330-8177. E-mail: tayran.oliveira@ufpe.br (Corresponding author).

²Professora da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). ORCID: 0000-0002-6270-2345. E-mail: weronica.meira@ufape.edu.br

³Professora da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). ORCID: 0000-0001-7367-6587. E-mail: josicleda.galvencio@ufpe.br

⁴Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). ORCID: 0000-0001-6704-8496. E-mail: rodrigo.gomeslucena@ufpe.br

⁵Graduanda do curso de bacharelado em Geografia na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). ORCID: 0009-0005-3606-0982. E-mail: leidiane.ferreira@ufpe.br

Artigo recebido em 15/11/2025 e aceito em 14/05/2026

RESUMO

O semiárido brasileiro apresenta limitações naturais decorrentes da baixa pluviosidade e das altas temperaturas, fatores que condicionam fortemente a dinâmica socioeconômica da região. Nesse contexto, destaca-se o município de Petrolina, localizado na mesorregião do São Francisco, que se consolidou como um dos principais polos de fruticultura irrigada do Brasil, ao mesmo tempo em que mantém práticas agrícolas tradicionais. Considerando a relevância dessa dualidade produtiva, este estudo objetivou analisar a variação de parâmetros biofísicos em Petrolina (1994, 2004, 2014 e 2024) e caracterizar as terras agrícolas irrigadas e de sequeiro através da ferramenta de processamento em nuvem Google Earth Engine (GEE). A metodologia integrou dados de precipitação do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS), uso e ocupação do solo por meio de dados do Mapbiomas, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) através dos satélites Landsat 5 e 8, caracterização das terras agrícolas através do Produto Global de Terras Agrícolas Irrigadas e de Sequeiro (LGRIP) e a evapotranspiração através do sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Os resultados apontaram a influência da pluviosidade nos parâmetros biofísicos, a redução das áreas de Formação Savânica e aumento das áreas agrícolas e de pastagem, além da expansão da área urbanizada. O NDVI apresentou valores elevados concentrados principalmente nas áreas irrigadas próximas ao rio São Francisco e valores reduzidos na Caatinga e em solos expostos. A evapotranspiração, por sua vez, se apresentou de maneira distinta entre os períodos seco e chuvoso, ressaltando a importância da disponibilidade hídrica sobre a dinâmica vegetativa. Contudo, os resultados evidenciam a relevância da irrigação na transformação da paisagem em ambientes semiáridos, bem como reforçam a importância do GEE na análise de dados geoespaciais.

Palavras-chave: Semiárido, Caatinga, Sensoriamento Remoto.

Temporal analysis of biophysical parameters and identification of irrigated and rainfed agricultural land in Petrolina, Pernambuco using Google Earth Engine

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region has natural limitations due to low rainfall and high temperatures, factors that strongly condition the socioeconomic dynamics of the region. In this context, the municipality of Petrolina, located in the São Francisco mesoregion, stands out, which has consolidated itself as one of the main centers of irrigated fruit growing in Brazil, while

maintaining traditional agricultural practices. Considering the relevance of this productive duality, this study aimed to analyze the variation of biophysical parameters in Petrolina (1994, 2004, 2014 and 2024) and to characterize irrigated and rainfed agricultural land through the Google *Earth Engine* (GEE) cloud processing tool. The methodology integrated precipitation data from the *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS), land use and occupation through Mapbiomas data, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) through the Landsat 5 and 8 satellites, characterization of agricultural land through the Global Irrigated and Rainfed Agricultural Land Product (LGRIP) and evapotranspiration through the sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). The results pointed to the influence of rainfall on biophysical parameters, the reduction of Savannah Formation areas and the increase of agricultural and pasture areas, in addition to the expansion of the urbanized area. The NDVI showed high values concentrated mainly in the irrigated areas near the São Francisco River and reduced values in the Caatinga and in exposed soils. Evapotranspiration, in turn, was different between the dry and rainy periods, emphasizing the importance of water availability on vegetative dynamics. However, the results show the relevance of irrigation in the transformation of the landscape in semi-arid environments, as well as reinforce the importance of GEE in the analysis of geospatial data.

Keywords: Semi-arid, Caatinga, Remote Sensing.

Introdução

O semiárido brasileiro constitui-se como uma das regiões mais singulares do país, ocupando 12% do território nacional, abrangendo grande parte do Nordeste e porções de Minas Gerais (INSA, 2025). Esta região caracteriza-se por possuir um sistema irregular de chuvas, elevadas taxas de evapotranspiração, fatores que influenciam diretamente a dinâmica ambiental e socioeconômica (Correia, et al., 2011). Apesar dessas limitações naturais, essa região apresenta grande relevância produtiva, em especial quando associada a iniciativas de irrigação, que transformaram o cultivo agrícola de diversos municípios.

Entre esses municípios, destaca-se Petrolina, que se tornou referência nacional e internacional pela produção agrícola, especialmente de culturas irrigadas, como uva e manga, consolidando-se como um dos principais polos de exportação do Brasil (Araújo e Silva, 2013). Em 2020, a produção de uvas no Vale do Submédio do rio São Francisco representou aproximadamente 27% da produção nacional e 14% das áreas de plantação de uvas no país (IBGE, 2023). Essa transformação está diretamente vinculada à implantação de perímetros irrigados pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), que possibilitou a modernização das práticas agrícolas e a diversificação econômica (DINC, 2025).

A disponibilidade hídrica, embora limitada, exerce papel central na manutenção das atividades produtivas e dos ecossistemas no semiárido. Os recursos hídricos são essenciais para o abastecimento urbano, a irrigação e o desenvolvimento agrícola (FLUS HIDRO, 2025)

porém a crescente demanda, associada às mudanças climáticas e ao uso intensivo da água tem intensificado a pressão sobre esses recursos, evidenciando a necessidade de estratégias mais eficientes na gestão hídrica. Nesse cenário, coexistem sistemas agrícolas distintos: o cultivo de sequeiro, altamente dependente das condições climáticas e a agricultura irrigada, que apresenta maior estabilidade produtiva, configurando uma importante dualidade no uso da terra na região (IBGE, 2020).

O Sensoriamento Remoto (SR) tem se consolidado como uma ferramenta essencial para a análise de mudanças ambientais em diferentes escalas espaciais e temporais. Com os avanços tecnológicos, destacam-se ferramentas de computação em nuvem, como o Google Earth Engine (GEE), que permitem o acesso, processamento e análise de grandes volumes de dados geoespaciais de forma eficiente (Gorelick et al., 2017; Taminina et al., 2020). Nesse contexto, diferentes produtos orbitais têm sido amplamente utilizados para o monitoramento ambiental, incluindo dados de precipitação, uso e cobertura do solo, índices de vegetação e evapotranspiração.

Nos últimos anos, diversos estudos têm empregado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na análise da dinâmica da vegetação, evidenciando sua forte relação com a variabilidade climática, especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade hídrica atua como principal fator limitante (Pinheiro, et al., 2021). De forma complementar, a evapotranspiração (ET) tem sido utilizada como um importante indicador da dinâmica hídrica e do funcionamento dos ecossistemas, permitindo

analisar a perda de água para a atmosfera (Xiang, et al., 2020), bem como distinguir diferentes sistemas produtivos, uma vez que áreas irrigadas tendem a apresentar maiores taxas de ET devido à maior disponibilidade hídrica, enquanto áreas de sequeiro refletem de forma mais direta a variabilidade climática (Zheng et al., 2022). Iniciativas como o Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no Brasil (MapBiomass) têm contribuído significativamente para o entendimento das mudanças no uso e cobertura do solo ao longo das últimas décadas (Souza et al., 2020).

Apesar dos avanços no uso de técnicas de SR aplicadas ao semiárido, observa-se que ainda há uma lacuna na literatura no que se refere à análise integrada de múltiplos parâmetros biofísicos em séries temporais longas em áreas de intensa transformação agrícola. Além disso, são escassos os estudos que abordam de forma conjunta a diferenciação entre agricultura irrigada e de sequeiro, especialmente com o uso de ferramentas de computação em nuvem.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar a variação dos parâmetros biofísicos no município de Petrolina ao longo dos anos de 1994, 2004, 2014 e 2024, bem como caracterizar as terras agrícolas irrigadas e de sequeiro.

Material e métodos

Área de Estudo

O município de Petrolina, localiza-se na mesorregião do São Francisco, entre as coordenadas 9° 23' 34" latitude sul e 40° 30' 28" longitude oeste (Figura 1), abrangendo uma área de 4.561,870 Km² e com uma população estimada em 418.444 habitantes (IBGE, 2025).

O clima característico do município é o semiárido, apresentando temperatura média anual superior a 25 °C, precipitação média em torno de 500 mm/ano e vegetação predominante de Caatinga (Galvêncio et al., 2020).

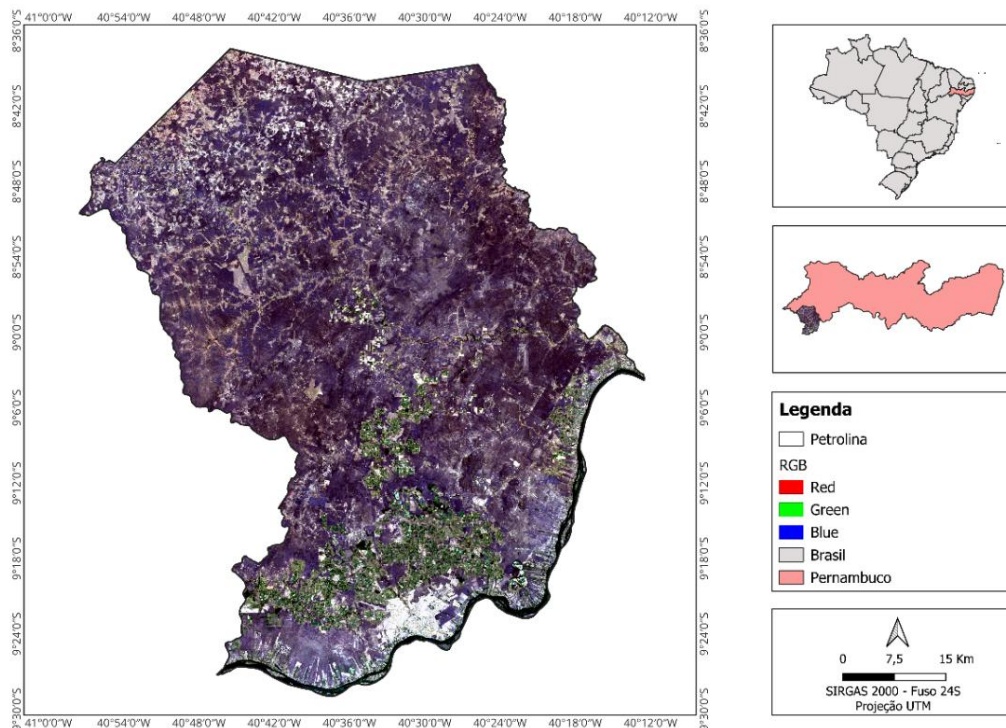


Figura 1. Mapa de localização do município de Petrolina – PE.

Procedimentos metodológicos

O desenvolvimento deste estudo envolveu as seguintes etapas: (i) extração dos dados de precipitação pluviométrica através do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS); (ii) obtenção dos dados de uso e ocupação do solo por meio do MapBiomas; (iii) cálculo do NDVI a partir de imagens dos satélites Landsat 5 e 8; (iv) extração das informações

referentes as terras agrícolas irrigadas e de sequeiro a partir do *Landsat-Derived Global Rainfed and Irrigated-Criopland Product* (LGRIP); (v) obtenção da ET através do sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS).

As etapas (i), (iii), (iv), e (v) foram processadas na plataforma Google Earth Engine (GEE), conforme mostra a Figura 2.

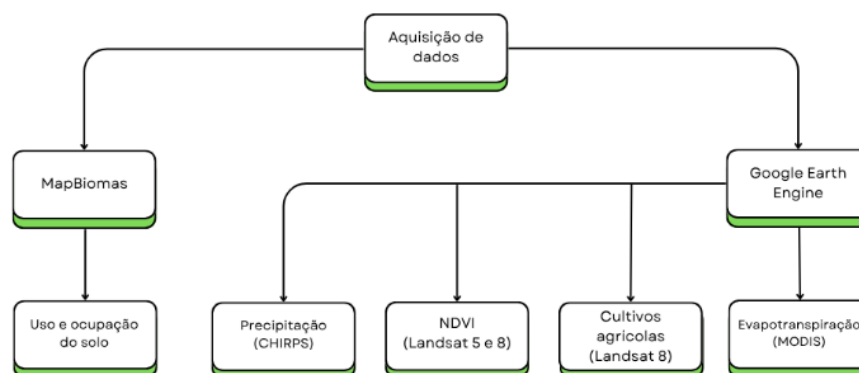


Figura 2. Fluxograma das etapas metodológicas.

Aquisição dos dados de precipitação

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos a partir da média acumulada anual do CHIRPS, esses dados fornecem uma estimativas quase global de precipitação, abrangendo a faixa entre 50° N e 50° S, com resolução espacial de 0,05° (~5,3 Km). Os dados são compostos com base em informações climatológicas globais combinadas com pluviômetros e informações de satélite para estimar a precipitação (Funk et al., 2015). Neste estudo, foram analisadas a precipitação dos anos de 1994, 2004, 2014 e 2024. As informações foram extraídas do GEE e pertencem a coleção ee.ImageCollection ("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY"). O CHIRPS é obtido através da seguinte equação:

$$b_{1.5} = \frac{s_{1.5} + \varepsilon}{c_{1.5} + \varepsilon} \quad (1)$$

Onde b é um vetor de 5 elementos de razões de polarização, s é um vetor de 5 elementos de observação da estação, c é um vetor de 5 elementos de valores CHIRPS e ε é um pequeno número

incluído no numerador e denominador para lidar com valores CHIRPS ou próximos de zero.

Uso e ocupação do solo

Para a caracterização do uso do solo, foram analisados os anos de 1994, 2004, 2014 e 2024, utilizou-se dados de cobertura e uso do solo da Coleção 10 do MapBiomas. Esse projeto é formado por uma rede global e multi-institucional que monitora as transformações na cobertura e no uso da terra nos territórios e seus impactos (MAPBIOMAS, 2025).

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Os dados de NDVI foram obtidos através do GEE e pertencem as coleções ee.ImageCollection ("LANDSAT/LT05/C02/T1") e ("LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA"). Para 1994 e 2004, utilizou-se a média das imagens do Landsat 5, para 2014 e 2024 foi realizada a média das imagens do Landsat 8, todos com cobertura de nuvens inferior a 10%. O NDVI foi calculado com base no

estudo de (Rouse et al., 1974) e é obtido através da razão entre a diferença da reflectância do infravermelho próximo e do vermelho e pela soma de ambas (Equação 2).

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (2)$$

Onde ρ_{nir} é a reflectância na banda do infravermelho próximo e ρ_{red} é a reflectância na banda do vermelho.

Áreas agrícolas irrigadas e de sequeiro

Para as áreas agrícolas irrigadas e sequeiro, utilizou-se dados do LGRIP, esses dados foram elaborados a partir de séries temporais do Landsat 8 no período de 2014 a 2017, resultando em um mapa estático que representa as condições observadas durante o período analisado, sendo o ano de 2015 o ponto central de referência para o estudo (Teluguntla et al., 2023).

Ao utilizar uma janela de 4 anos, é possível combinar múltiplas passagens do Landsat 8 para criar um mosaico limpo e contínuo a fim de suavizar anomalias climáticas temporárias, como um ano de seca extrema ou de inundação. Cada arquivo GeoTIFF do LGRIP, com resolução de 30 metros, apresenta uma camada que diferencia as áreas irrigadas das áreas de cultivo de sequeiro. O conjunto de dados pertencem a coleção ee.ImageCollection ("projects/sat-io/open-datasets/GFSAD/LGRIP30").

Para este estudo, foram utilizadas as classes 2 e 3, que correspondem, respectivamente às terras agrícolas irrigadas e de sequeiro, os conjuntos de dados podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1. Conjunto de dados do Produto Global de Terras Agrícolas Irrigadas e de Sequeiro (LGRIP).

Rótulo da classe	Nome	Descrição
0	Oceano	Oceano e corpos d'água
1	Terras não agrícolas	Terrenos com outro uso do solo
2	Terras agrícolas irrigadas	Terras agrícolas irrigadas

3	Terras de cultivo de sequeiro	Terras agrícolas de sequeiro
---	-------------------------------	------------------------------

Aquisição dos dados de evapotranspiração

Os dados de evapotranspiração foram obtidos do MODIS através da coleção ee.ImageCollection ("MODIS MOD16A2GF") versão 6.1, Evapotranspiração/Fluxo de Calor Latente (ET/LE). É um conjunto de dados compostos de 8 dias e com resolução de 500 metros. Este produto disponibiliza dados a partir de 01/01/2000, motivo pelo qual não foi possível obter informações de evapotranspiração do ano de 1994, sendo considerados apenas os anos de 2004, 2014 e 2024 para a análise.

Para a obtenção da ET, realizou-se separadamente a média dos períodos seco e chuvoso, considerando que a área de estudo está localizada em uma região com duas estações bem definidas, apresentando características singulares em ambas as estações.

Mu et al. (2007) realizou uma implementação para a geração da ET, no entanto, o produto se baseia na equação de Penman-Monteith (Equação 3).

$$\lambda E = \frac{sA + \rho C_p (e_{sat} - e)/r_a}{s + \gamma(1 + r_s/r_a)} \quad (3)$$

Onde, λE é o fluxo de calor latente (W/m^2) e λ é o calor latente de vaporização (J/kg), $s = d(e_{sat})/dT$ é a inclinação da curva que relaciona a pressão de saturação de vapor d'água (e_{sat} dado em Pa) à temperatura. A é a disponibilidade de energia (W/m^2), ρ é a densidade do ar (kg/m^3), C_p é a capacidade de calor específico do ar ($J/kg/K$), e é a pressão atual de vapor (Pa), r_a é a resistência aerodinâmica (s/m), γ é a constante psicrométrica.

Resultados e discussão

A Figura 3 apresenta a média acumulada anual da precipitação do município de Petrolina para os anos de 1994, 2004, 2014 e 2024. É possível observar que os anos com maior precipitação referem-se a 2004 e 2024, ultrapassando 750mm. Melo et al. (2022) e Soares et al. (2025) utilizaram dados estimados do CHIRPS para avaliar a dinâmica espaço-temporal da vegetação, corroborando com os resultados deste estudo.

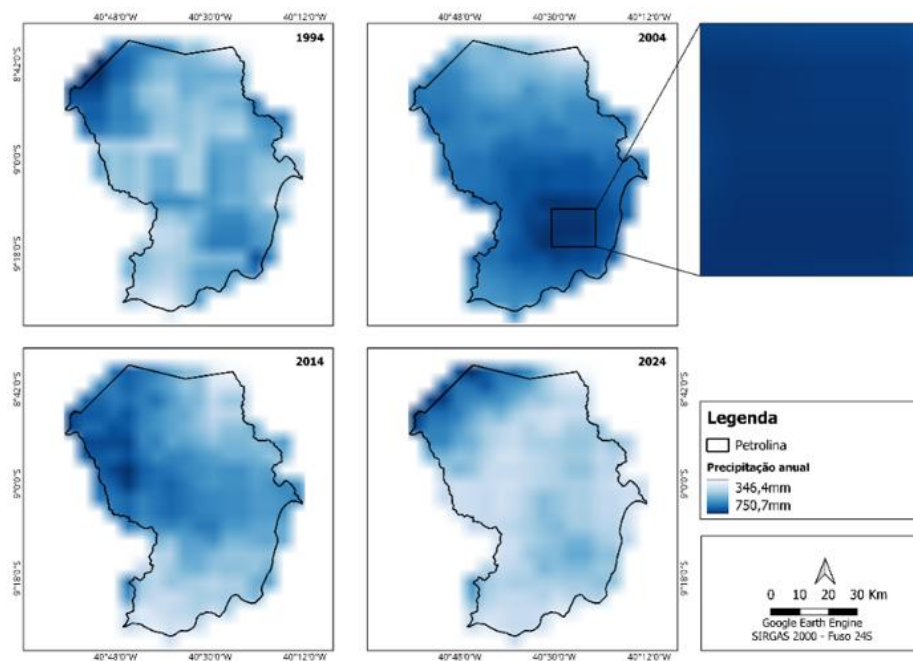


Figura 3. Distribuição espacial da precipitação do município de Petrolina – PE, através de dados CHIRPS.

De acordo com Silva et al. (2019), a precipitação no semiárido se concentra principalmente entre os meses de novembro a abril e o período mais seco compreende os meses de maio a outubro. Mesmo no período chuvoso, a distribuição da precipitação tende a ser irregular, o que reforça a vulnerabilidade hídrica do município de Petrolina.

Nesse contexto de vulnerabilidade climática e limitações hídricas, a dinâmica do uso e cobertura do solo torna-se ainda mais relevante para compreender as transformações ambientais na área de estudo. Os resultados da Figura 4 e Tabela 1 evidenciaram uma redução da classe formação savânica, cuja área diminuiu 766,03 Km² entre 1994 e 2024. Em contrapartida, observou-se aumento de 6,8% nas classes de pastagem com um acréscimo de 209,99 Km², mosaico de usos com aumento de 10,2%, o que corresponde a 209,97 Km² e lavouras perenes com aumento 6,3% correspondendo a

234,33 Km².

Além das mudanças nos usos com maior predominância na área de estudo, foi possível observar a expansão da área urbanizada que passou de 60,91 Km² em 1994 para 126,83 Km² em 2024.

Resultados semelhantes foram encontrados por (Lyra et al., 2018) em estudo realizado em ilhas no Alto Submédio São Francisco, onde se observou a redução das áreas vegetadas e a expansão das áreas de culturas agrícolas e urbanas. Do mesmo modo, (Fernandes et al., 2020) ao investigarem o semiárido de Sergipe, identificaram a diminuição das áreas vegetadas e o aumento das atividades agrícolas no período de 1992 a 2017.

Esse padrão de redução da vegetação natural e ampliação dos usos antrópicos reforça a importância da utilização de métricas capazes de quantificar a vitalidade e a dinâmica da cobertura vegetal ao longo do tempo.

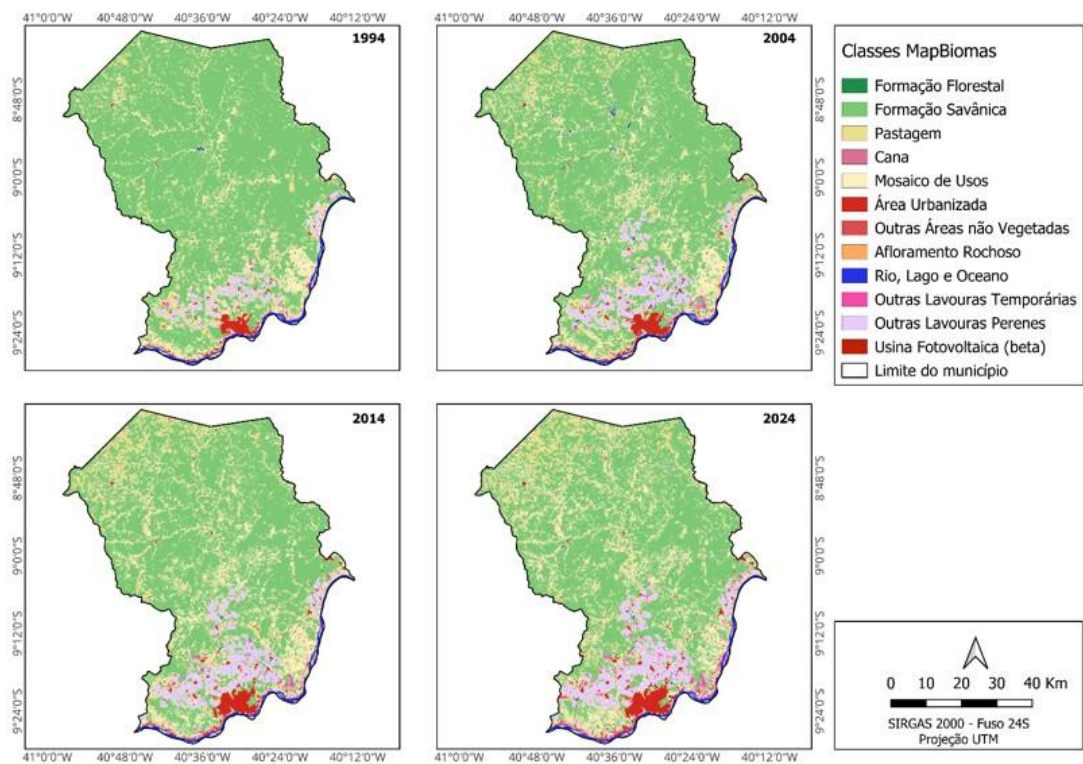


Figura 4. Uso e ocupação do solo do município de Petrolina - PE.

Os usos predominantes são: formação savânica, pastagem e mosaico de usos, representando mais de 50% do território entre os anos analisados, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação anual do uso e ocupação do solo por área (%) no município de Petrolina - PE.

Classes	1994		2004		2014		2024	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
Formação Florestal	0,004	0	-	-	0,012	0	0,116	0
Formação Savânica	3435,68	43,7	3103,21	68	2834,01	62	2669,65	58
Área urbanizada	60,91	0,7	78,90	1,7	103	2,2	126,83	2,7
Pastagem	240,84	3	329,01	7,2	452,51	9,9	450,83	9,8
Mosaico de usos	614,73	7,8	698,50	15	766,42	16	824,70	18
Cana	0,744	0	0,011	0	-	-	0,244	0
Outras lavouras perenes	117,3	1,4	237,31	5,2	297,41	6,5	351,63	7,7
Outras áreas não vegetadas	4,122	0,05	4,937	0,1	5,572	0,1	7,951	0,1

Outras lavouras temporárias	10,872	0,1	23,76	0,5	31,54	0,6	57,09	1,2
Afloramento rochoso	0,309	0	0,308	0	0,306	0	0,311	0
Rio, lago e oceano	74,675	0,9	84,216	1,8	69,38	1,5	70,656	1,5
Usina fotovoltaica (beta)	-	-	-	-	-	-	0,173	0

Diante da predominância dessas classes e da necessidade de compreender sua dinâmica ao longo do tempo, o NDVI foi empregado nesse estudo como ferramenta de monitoramento, permitindo avaliar a variação espacial e temporal da vegetação e complementar a análise das mudanças de uso e ocupação do solo.

Os valores de NDVI variaram entre -0,7 e 0,8 (Figura 5), as maiores concentrações são encontradas na porção sul de Petrolina, bem próximo ao Rio São Francisco, enquanto os menores valores são encontrados em corpos hídricos. Essas áreas correspondem a terras agrícolas irrigadas e de sequeiro (Figura 6), cuja expansão espacial ao longo do período analisado reflete o avanço sobre a vegetação nativa. A predominância das tonalidades laranja, amarela e verde-claro indica a vegetação de Caatinga em diferentes estágios de cobertura e regeneração.

A dinâmica evidencia que a variabilidade da precipitação e os processos de conversão do uso da terra estão diretamente relacionados à variação da resposta espectral da vegetação. Resultados semelhantes foram descritos por (Oliveira et al.,

2022) que identificaram menores valores de NDVI em áreas de solo exposto e maiores valores em áreas irrigadas. Brito, Santos e Moraes (2020), em estudo sobre a sazonalidade da vegetação de Petrolina, identificaram que as áreas com maiores valores de NDVI pertenciam as áreas irrigadas, enquanto as áreas de solo exposto e Caatinga apresentavam valores reduzidos.

Do mesmo modo, (Silva et al., 2019) observaram em estudo realizado em Petrolina, valores elevados de NDVI associados a áreas irrigadas e menores valores em áreas de Caatinga e solo exposto, reforçando a tendência de intensificação do uso agrícola em detrimento da vegetação nativa.

A redução da cobertura vegetal nativa pode desencadear implicações ambientais, especialmente em regiões semiáridas, onde a vegetação exerce papel fundamental na manutenção do equilíbrio hidrológico e climático. A substituição da Caatinga por áreas urbanizadas e agrícolas tende a favorecer o aumento da temperatura superficial, a redução da umidade do solo e a intensificação dos processos erosivos (Gomes et al., 2021).

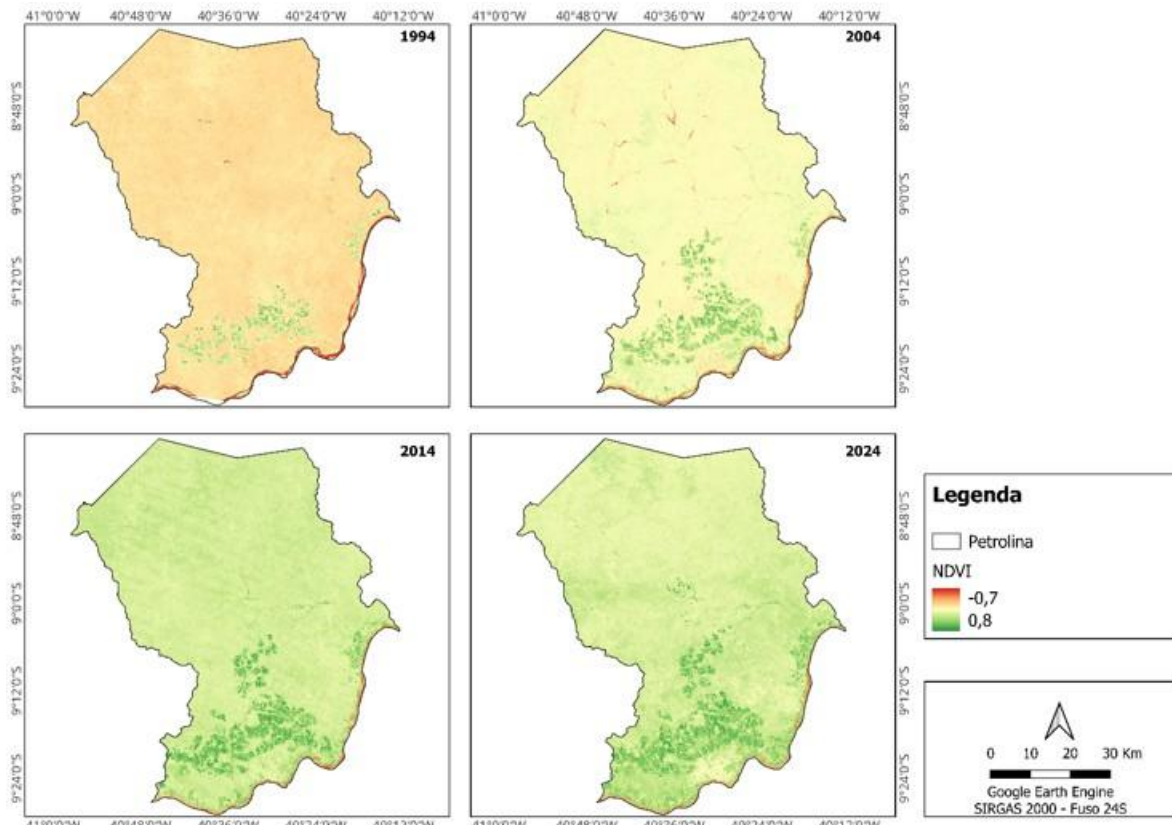


Figura 5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no município de Petrolina – PE.

Em consonância com os resultados de NDVI, a análise dos sistemas agrícolas na área de estudo permite aprofundar essa dinâmica, evidenciando a distribuição entre agricultura irrigada e de sequeiro (Figuras 6 e 7).

As áreas agrícolas predominantes em Petrolina pertencem ao cultivo de sequeiro, ocupando uma área que ultrapassa 590 Km² enquanto as terras agrícolas irrigadas abrangem pouco mais de 8,5 Km² (Figura 7). O mapeamento das terras agrícolas, tanto irrigadas quanto de sequeiro, é extremamente relevante, sobretudo pelo fato de que a agricultura é responsável por aproximadamente 80 a 90% do consumo humano de água (Teluguntla et al., 2023). Em escala global, estima-se que, dos 1,873 bilhão de hectares de terras agrícolas existentes, cerca de 75% correspondem ao cultivo de sequeiro e 25% ao cultivo irrigado (Biradar et al., 2009; Thenkabail et al., 2009, 2011, 2012; Portmann et al., 2010; Siebert et al., 2013;

Teluguntla et al., 2015).

A agricultura de sequeiro é bastante difundida na região Nordeste, principalmente no semiárido, possuindo grande importância na manutenção da renda, segurança alimentar e no sustento das famílias, principalmente nos municípios onde a maior parte da população vive no campo e estão expostas às secas (Pereira, Silva Junior, 2018; Lemos e Santiago, 2020).

No entanto, a forte dependência das chuvas torna a agricultura de sequeiro vulnerável às mudanças climáticas, especialmente em anos de seca prolongada, o que compromete a produtividade e aumenta a insegurança alimentar (Lemos e Santiago, 2020). A construção de reservatórios possibilitou a implementação de perímetros irrigados, favorecendo o desenvolvimento socioeconômico em regiões historicamente desfavorecidas, como o semiárido brasileiro.

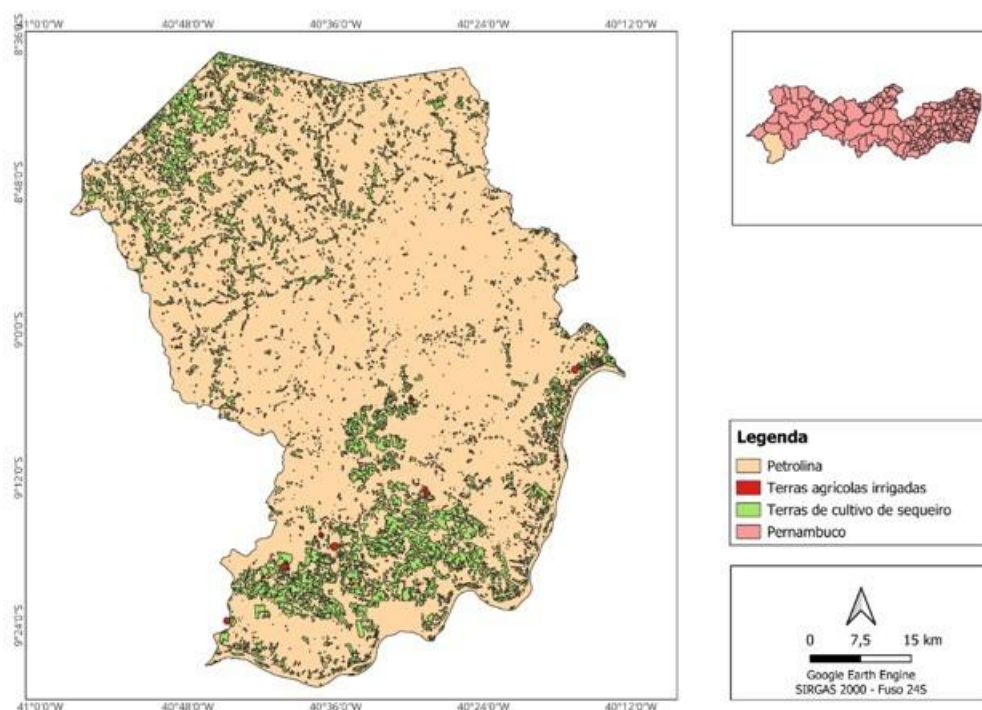


Figura 6. Terras agrícolas irrigadas e de sequeiro no município de Petrolina - PE.

A partir de 1969, a CODEVASF iniciou os estudos para a criação de um polo de desenvolvimento econômico, em um contexto no qual a agricultura local era predominantemente de subsistência e dependia exclusivamente das chuvas para irrigação.

Nos perímetros irrigados no semiárido, a produção predominante é a fruticultura, segundo (Souza et al., 2015; Baiardi e Ribeiro, 2023), este perfil de produção representa parcela significativa da produção nacional, se tornando um importante instrumento de geração e distribuição de renda, envolvendo pequenos e médios produtores no processo produtivo.

Os resultados indicam que a predominância do cultivo de sequeiro em Petrolina acompanha a tendência observada em escala global, onde cerca de 75% das terras agrícolas correspondem a esse sistema de produção. No entanto, apesar de ocupar uma área relativamente restrita, as terras agrícolas irrigadas desempenham papel estratégico em virtude dos polos de irrigação, a exemplo do polo Petrolina-Juazeiro, reconhecido como dos principais centros produtores e exportadores de frutas do Brasil.

Essa consolidação está diretamente associada às políticas públicas de incentivo à irrigação, como a Política Nacional de Irrigação

(PNI) instituída pela Lei N° 12.787, de 11 de janeiro de 2013, que tem como objetivo promover o uso sustentável dos recursos hídricos e ampliar a produtividade agrícola no país (BRASIL, 2013).

Em 1980, com o início das obras, consolidou-se um processo de transformação das áreas agrícolas no semiárido, marcado pela agricultura irrigada em escala mais ampla (DINC, 2025).

Nesse contexto, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) têm desempenhado papel essencial na implantação e manutenção de infraestruturas hídricas voltadas à irrigação, contribuindo para o fortalecimento da agricultura nas regiões semiáridas (BRASIL, 2024). Complementarmente, o Projeto de Integração do rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) representa um marco no processo de transformação social e econômica do Nordeste, ao ampliar a oferta de água e garantir segurança hídrica e desenvolvimento para as populações historicamente afetadas pela seca (PERNAMBUCO, 2025).

A diferenciação entre os sistemas produtivos reflete diretamente nos padrões de uso da água e na dinâmica da vegetação local, aspectos que podem ser evidenciados por meio da análise da evapotranspiração.

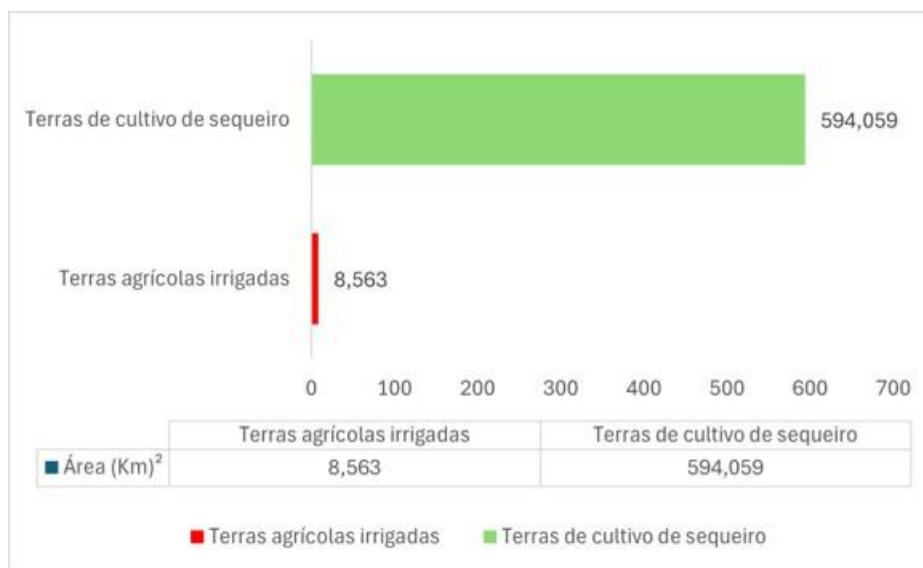


Figura 7. Ocupação das áreas agrícolas de cultivo irrigado e de sequeiro (Km²) em Petrolina - PE.

As áreas de evapotranspiração derivadas do produto MODIS (Figura 8) apresentaram variações entre os períodos seco e chuvoso ao longo dos anos analisados, refletindo o comportamento sazonal das precipitações observadas em Petrolina, esses períodos mais úmidos coincidiram com os maiores valores de ET nos períodos chuvosos de 2004 e 2024.

No período seco, foi possível observar que os menores valores se concentraram nas áreas ocupadas por pastagem, mosaico de usos, formação savânica e formação florestal, que correspondem às áreas de Caatinga, com valores variando entre 2,1 e 17,8 mm dia⁻¹. Por outro lado, os maiores valores nesse período variaram entre 17,9 e 23 mm dia⁻¹, ocorrendo nas áreas classificadas como outras lavouras perenes e outras lavouras temporárias, associadas aos cultivos agrícolas e de sequeiro. Durante o período chuvoso, os valores de ET aumentaram em todas as classes, registrando valores entre 4,3 e 29,6 mm dia⁻¹ nas áreas de pastagem, mosaico de usos, formação savânica e formação florestal. Já os maiores valores variaram entre 29,7 e 36,2 mm dia⁻¹, sendo observados nas áreas de outras lavouras perenes e outras lavouras temporárias, representando os cultivos irrigados e de sequeiro.

Essa variação sazonal reflete os resultados observados no NDVI, que apresentou valores mais elevados nas áreas agrícolas irrigadas e de sequeiro, especialmente as áreas próximas ao rio São

Francisco, onde predominam os cultivos irrigados. Já os menores valores foram registrados nas áreas de Caatinga, mais suscetíveis às oscilações de umidade do solo.

Observa-se que a precipitação atua como o principal fator modulador da ET, enquanto a irrigação exerce papel fundamental na manutenção da atividade vegetativa, garantindo maiores valores de ET e NDVI mesmo sob condições de déficit pluviométrico.

Esses resultados corroboram com os estudos de (Jardim et al., 2022) que identificaram menores valores de ET nas áreas de pastagem e mosaico de usos e os maiores nas áreas agrícolas irrigadas e de sequeiro. Mutti et al. (2019) afirma que ambientes com presença de vegetação herbácea e com grandes áreas de solo exposto tendem a favorecer o acúmulo de água na superfície, podendo resultar em maiores taxas de perda de água por evapotranspiração.

Nos estudos de Souza et al. (2015) observaram que entre fevereiro e março, meses correspondentes ao período chuvoso, a ocorrência de eventos de precipitação contribuiu para o aumento da ET, evidenciando a rápida resposta da vegetação à disponibilidade de água, que quando somado a cobertura do solo podem configurar-se como fatores determinantes na variação da evapotranspiração, sendo fortemente influenciados pelo desmatamento, reflorestamento e recuperação de pastagens (Li et al., 2017).

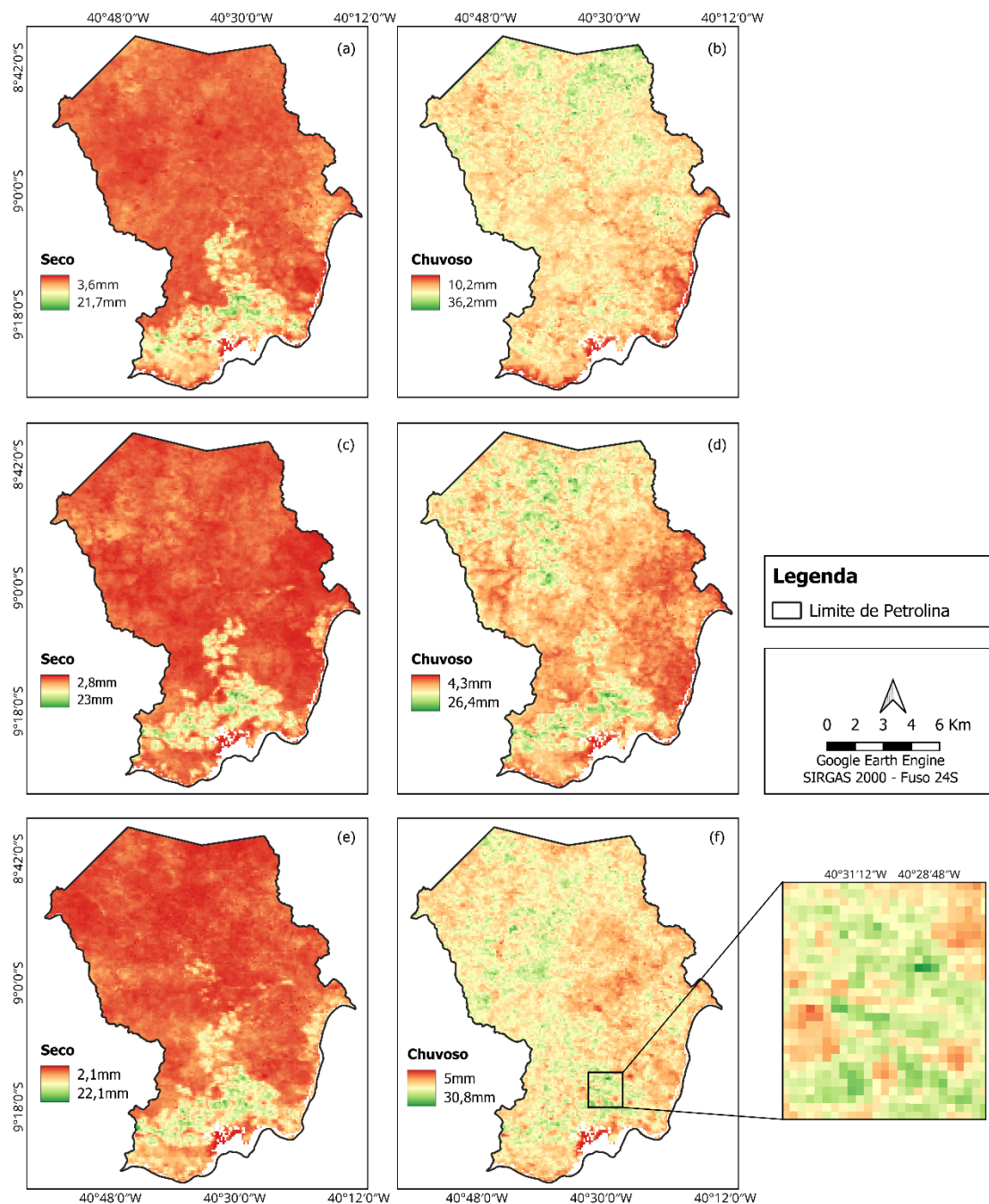


Figura 8. Evapotranspiração real (ET, mm dia⁻¹) por período no município de Petrolina, (a) período seco em 2004, (b) período chuvoso em 2004, (c) período seco em 2014, (d) período chuvoso em 2014, (e) período seco em 2024, (f) período chuvoso em 2024.

Conclusão

O presente estudo evidenciou as transformações espaciais e temporais do uso e cobertura do solo no município de Petrolina entre 1994 e 2024, destacando o avanço das áreas agrícolas irrigadas e de sequeiro em detrimento da vegetação nativa de Caatinga. A análise da precipitação, do NDVI e da evapotranspiração permitiu compreender a influência da disponibilidade hídrica e das práticas de uso do solo sobre a dinâmica da vegetação.

Os resultados evidenciaram que os maiores valores de NDVI e ET estão associados às áreas agrícolas irrigadas, sobretudo nas proximidades do rio São Francisco, garantindo maior estabilidade vegetativa, mesmo durante o período seco. Em contrapartida, as áreas de Caatinga e solo exposto apresentaram baixos valores de NDVI e ET, refletindo a vulnerabilidade do semiárido às variações climáticas e à escassez hídrica.

A precipitação se mostrou irregular, no entanto, a ocorrência das chuvas é um fator determinante em regiões semiáridas, influenciando diretamente na resposta espectral da vegetação e na evapotranspiração. Nesse contexto, observa-se que as práticas agrícolas irrigadas desempenham papel estratégico na manutenção da produtividade e da cobertura vegetal, porém demandam planejamento sustentável para evitar pressões sobre os recursos hídricos e a expansão na vegetação de Caatinga.

Cabe ressaltar que o estudo apresenta limitações com relação à resolução espacial e temporal de alguns produtos utilizados, à ausência de dados de ET para 1994 e às diferenças entre sensores. Ainda assim, os resultados obtidos podem contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas, destacando a importância do monitoramento contínuo por meio de ferramentas de sensoriamento remoto e plataformas como o Google Earth Engine, que possibilitam análises de longo prazo e fornecem subsídios fundamentais para a gestão e o planejamento territorial no semiárido.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) e ao Grupo de Pesquisa Clima, Mudanças Climáticas e Desastres Naturais (CLIMADEN).

Referências

- Araújo, G. J. F., Silva, M.M., 2013. Crescimento econômico no semiárido brasileiro: o caso do polo frutícola Petrolina/Juazeiro. *Caminhos de Geografia*, [S.L.], v. 14, n. 46, p. 246-264. PPUFU - Portal de Periódicos da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg144618291>.
- Baiardi, A., & Ribeiro, M. C. M. (2023). Eficiência da gestão da agricultura irrigada no Vale do São Francisco: uma análise comparativa no polo regional Petrolina-Juazeiro. *Colóquio-Revista do desenvolvimento regional*, 20(3, jul./set.), 28-51.
- Biradar, C. M., Thenkabail, P. S., Noojipady, P., Li, Y., Dheeravath, V., Turrall, H., Velpuri, M., Gumma, M. K., Gangalakunta, O. R. P., Cai, X.

L., Xiao, X., Schull, M. A., Alankara, R. D., Gunasinghe, S., Mohideen, S., 2009. A global map of rainfed cropland areas (GMRCa) at the end of last millennium using remote sensing. *International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation*, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 114-129. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2008.11.002>.

BRASIL, Política Nacional de Irrigação (PNI). Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112787.htm. Acesso em: 25 set. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), 2024. Perímetro Irrigado do DNOCS atua no desenvolvimento do Brasil. [S.L.]: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Publicado em 15 maio 2024.

Brito, P. V. S., Santos, T. O., Moraes, Y. C. B., 2020. Análise da sazonalidade da vegetação de caatinga do município de Petrolina (Pernambuco) a partir de imagens do satélite Landsat 8—OLI. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 1, n. 1.

Correia, R. C., Kill, L. H. P., Moura, M. S. B., Cunha, T. J. F., Jesus Junior, L. A., Araujo, J. L. P., 2011. A região semiárida brasileira. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). *Produção de caprinos e ovinos no Semiárido*. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 21-48.

DINC. Distrito de Irrigação Nilo Coelho, 2025. O Projeto Público Irrigado: distrito de irrigação Nilo Coelho. Disponível em: <https://www.dinc.org.br/empresa/>. Acesso em: 25 set. 2025.

Fernandes, M. M., Fernandes, M. R. M., Garcia, J. R., Matriacardi, E. A. T., Ameida, A. Q., Pinto, A. S., Menezes, R. S. C., Silva, A. J., Lima, A. H. S., 2020. Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992-2030. *Land Use Policy*, [S.L.], v. 99, p. 104795. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104795>.

FLUSS HIDRO. 2025. Soluções em Sistemas Hidráulicos. Recursos Hídricos: Importância, Gestão e Desafios para o Futuro: O que são recursos híbridos?. Disponível em:

- <https://flusshidro.com/recursos-hidricos/importancia-gestao-e-desafios-para-o-futuro/>. Acesso em: 15 out. 2025.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdín, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., Michaelsen, J., 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data*, [S.L.], v. 2, p. 150066. Nature Portfolio. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
- Galvêncio, J. D., Mendes, S. M., Souza, W. M., Morais, Y. C. B., Miranda, R. Q., Moura, M. S. B., Santos, W. F., 2020. Correlação linear entre a precipitação e o Índice de Área Foliar do bioma Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 13, n. 07, p. 3304-3314. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3304-3314>.
- Gomes, D.S., Barbosa, A.S., Santos, T.M., Santos, S.K., Silva, J.H.C.S., Aquino, Í.S., 2021. Cinética de liberação de CO₂ e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. *Research, Society and Development*, 10(1): e9810111413.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing Of Environment*, [S.L.], v. 202, p. 18-27. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Agência. Dependente das chuvas, agricultura de sequeiro tem déficit hídrico de 37%. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27410-dependente-das-chuvas-agricultura-de-sequeiro-tem-deficit-hidrico-de-37>. Acesso em: 15 out. 2025.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. Pesquisa Agrícola Municipal – Tabela 1613: Uva (todos os anos). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 15 out. 2025.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025. Cidades e Estados: Petrolina. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:
- <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/petrolina.html>. Acesso em: 16 out. 2025.
- INSA. Instituto Nacional do Semiárido, 2025. O Semiárido Brasileiro. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 16 out. 2025.
- Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Silva, M. V., Santos, A., Silva, J. L. B., Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J. F., Teixeira, A. H. C., Teodoro, P. E., Lima, J. L. M. P., Silva Junior, C. A., Souza, L. S. B.; Silva, E. A., Silva, T. G. F., 2022. Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian. *Remote Sensing*, [S.L.], v. 14, n. 8, p. 1911. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs14081911>.
- Li, G., Zhang, F., Jing, Y., Liu, Y., Sun, G., 2017. Response of evapotranspiration to changes in land use and land cover and climate in China during 2001–2013. *Science of The Total Environment*, [S.L.], v. 596-597, p. 256-265. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.080>.
- Lemos, J. D. J. S., Santiago, D. F., 2020. Instabilidade temporal na produção agrícola familiar de sequeiro no semiárido do nordeste brasileiro. *Desenvolvimento em Questão*, n. 50, p. 186-200. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2020.50.186-200>.
- Lyra, L. H. B., Lira, D. R., Silva, D. N. F., Santos, R. S., 2018. Análise evolutiva do uso e ocupação das terras nas ilhas do massangano e rodeadouro, alto submédio são francisco, Petrolina-PE. *Revista de Geografia*, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 94. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2018.230123>.
- MAPBIOMAS. Projeto de mapeamento anual da cobertura e uso da terra no Brasil, 2025. O Projeto. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>. Acesso em: 20 out. 2025.
- Melo, M. V. N., Oliveira, M. E. G., Almeida, G. L. P., Gomes, N. F., Morales, K. R. M., Santana, T. C., Silva, P. C., Moraes, A. S., Pandorfi, H., Silva, M. V., 2022. Spatiotemporal characterization of land cover and degradation in the agreste region of Pernambuco, Brazil,

- using cloud geoprocessing on Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 26, p. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100756>.
- Mu, Q., Heinsch, F. A., Zhao, M., Running, S. W., 2007. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment*, v. 111, n. 4, p. 519-536. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.04.015>
- Mutti, P. R., Abreu, L. P., Andrade, L. M. B., Spyrides, M. H. C., Lima, K. C., Oliveira, C. P., Dubreuil, V., Bezerra, B. G., 2019. A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semiarid watersheds. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 139, p.109-125. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02963-0>.
- Oliveira, T. H., Oliveira, J. S. S., Pimentel, R. M. M., Galvêncio, J. D., 2022. Spatial evolution of land use and land cover for the Tatu-Bola Wildlife Refuge - Pernambuco, using orbital images. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 38-59. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.29150/2237-2202.2022.251975>.
- Pereira, G. R., Silva Junior, M. M., 2018. Correlação entre as Secas e as Perdas na Agricultura de Sequeiro no Semiárido Nordeste. In: I Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido (CONADIS).
- PERNAMBUCO. Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), 2025. Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF). Recife: APAC. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/pisf>. Acesso em: 21 out. 2025.
- Pinheiro, A. G., Souza, L. S. B., Jardim, A. M. R. F., Júnior, G. N. A., Alves, C. P., Souza, C. A. A., Leite, R. M. C., Silva, T. G. F., 2021. Lacunas de produtividade e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira – Revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 4, p. 2403-2426. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2403-2426>.
- Portmann, F. T., Siebert, S., Döll, P., 2010. MIRCA2000 - Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global biogeochemical cycles*, v. 24, n. 1.
- Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., Harlan, J. C., 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation Greenwave Effect of Natural Vegetation, Greenbelt, USA. Greenbelt, MD: NASA/GSFC.
- Siebert, S., Henrich, V., Frenken, K., Burke, J., 2013. Update of the Digital Global Map of Irrigation, Areas to Version 5. Documentation. Bonn, Germany: Institute of Crop Science and Resource Conservation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. 171 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/I9261EN/i9261en.pdf>.
- Silva, D. A. O., Galvêncio, J. D., Oliveira, A. K., Miranda, R. Q., 2019. Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura Vegetal de Petrolina-PE. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 89-99. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786334018>.
- Soares, D. R., Morais, J. F. S., Araújo, D. C. S., Paiva, A. L. R., Oliveira, L. M. M., 2025. Spatiotemporal Dynamics of Vegetation Cover and Drought Conditions in the Semi-Arid Region of Brazil. *Sociedade & Natureza*, v. 37, p. 1-16. (SciELO). <https://doi.org/10.14393/SN-v37-2025-77229>.
- Souza, L. S. B., Moura, M. S. B., Sediya, G. C., Silva, T. G. F., 2015. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [S.L.], v. 50, n. 8, p. 627-636. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2015000800001>.
- Souza, C. M., Jr., Z. Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A. Alencar, A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto, M., G. Ferreira, L., Souza-Filho, P. W. M., de Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., Brisco, B., 2020.

- Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 164, p. 152-170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Teluguntla, P., Thenkabail, P. S., Xiong, J., Gumma, M. K., Giri, C., Milesi, C., Ozdogan, M., Congalton, R. G., Tilton, J., Sankey, T., Massey, R., Phalke, A., Yadav, K., 2015. Global Food Security Support Analysis Data at Nominal 1 km (GFSAD1km) Derived from Remote Sensing in Support of Food Security in the Twenty-First Century: Current Achievements and Future Possibilities, Chapter 6. In: THENKABAIL, P. S. (Editor-in-Chief). *Remote Sensing Handbook (Volume II): Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing*. Boca Raton: Taylor and Francis Inc./CRC Press. p. 131-160.
- Teluguntla, P., Thenkabail, P. S., Oliphant, A., Gumma, M. K., Anece, I., Foley, D., McCormick, R., 2023. The GFSAD Landsat-derived Global Rainfed and Irrigated-Cropland Product at nominal 30m of the World (GFSADLGRIP30WORLD). NASA EOSDIS Land Processes DAAC. DOI: <https://doi.org/10.5067/Community/LGRIP/LGRIP30.001>.
- Thenkabail, P. S., Biradar, C. M., Noojipady, P., Dheeravath, V., Li, Y. J., Velpuri, M., Gumma, M., Gangalakunta, O. R. P., Turrall, H., Cai, X., Vithanage, J., Schull, M. A., Dutta, R., 2009. Global irrigated area map (GIAM), derived from remote sensing, for the end of the last millennium. *International Journal of Remote Sensing*, [S.L.], v. 30, n. 14, p. 3679-3733. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160802698919>.
- Thenkabail, P.S., Hanjra, M.A., Dheeravath, V., Gumma, M. 2011. Book Chapter # 16: Global Croplands and Their Water Use Remote Sensing and Non-Remote Sensing Perspectives. In the Book entitled: “Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications”. Taylor and Francis Edited by Dr. Qihao Weng. Pp. 383-419.
- Thenkabail, P. S., Knox, J. W., Ozdogan, M., Gumma, M. K., Congalton, R. G., Wu, Z., Milesi, C., Finkral, A., Marshall, M., Mariotto, I., You, S.; Giri, C., Nagler, P., 2012. Assessing future risks to agricultural productivity, water resources and food security: how can remote sensing help? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, [S.L.], v. 78, n. 8, p. 773-782.
- Xiang, K., Li, Y., Horton, R., Feng, H., 2020. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration – a review. *Agricultural Water Management*, v. 232, p. 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106043>.
- Zheng, H., Cantou, Z., Wang, K., Xu, Y., Cai, Z. Y., 2022. Distribution of Irrigated and Rainfed Agricultural Land in a Semi-Arid Sandy Area. *Land*, v. 11, p. 1-13. <https://doi.org/10.3390/land1110162>.